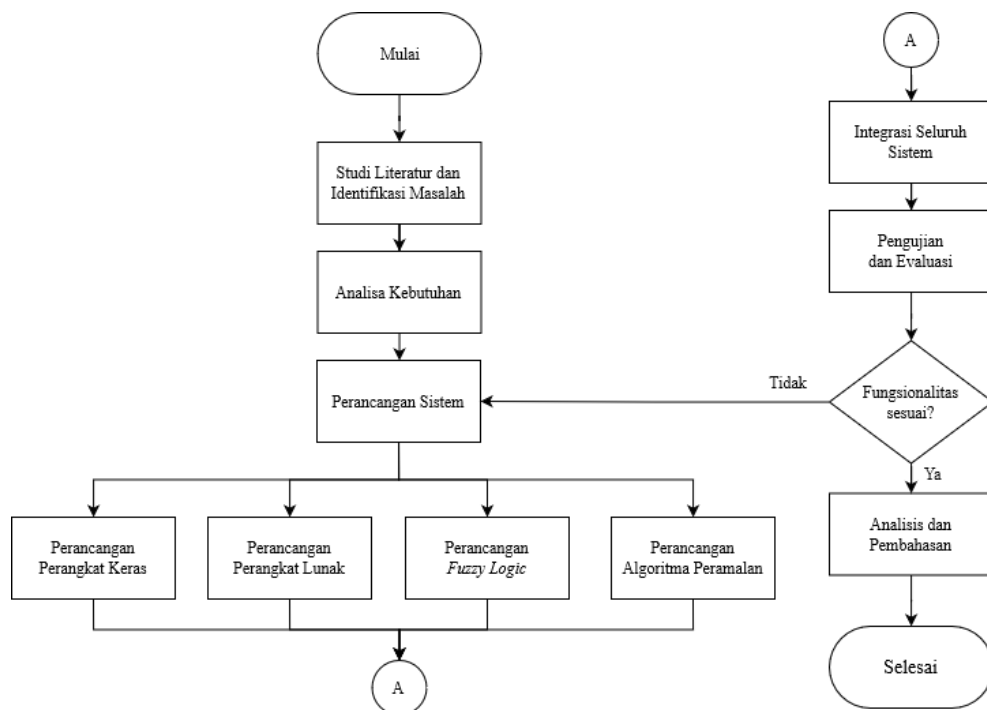


## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Desain Penelitian

Berdasarkan analisis kebutuhan, perancangan sistem *monitoring* listrik berbasis IoT terstruktur dalam empat sistem utama, yakni perancangan alat *monitoring*, pengembangan perangkat lunak, perancangan *fuzzy logic*, dan perancangan algoritma peramalan. Perencanaan pada penelitian ini secara rinci dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Alur Penelitian

Tahapan awal penelitian ditempuh melalui studi literatur, di mana penelitian sebelumnya dieksplorasi untuk mengidentifikasi dan memahami permasalahan yang masih relevan dalam konteks terkini. Analisis kebutuhan sistem menjadi fokus selanjutnya, yang mencakup identifikasi kebutuhan komponen, perancangan sistem, integrasi keseluruhan sistem, pengujian sistem, dan evaluasi sistem. Analisis kebutuhan yang mendalam menghasilkan empat sistem perancangan utama yang diperlukan untuk merumuskan solusi, yaitu perancangan alat, perancangan perangkat lunak, perancangan *fuzzy logic*, dan perancangan algoritma peramalan. Masing-masing sistem perancangan ini diarahkan untuk mengatasi

aspek-aspek kritis yang telah diidentifikasi selama studi literatur dan analisis kebutuhan.

Setelah proses perancangan diselesaikan, seluruh sistem diintegrasikan secara sinergis untuk menciptakan solusi yang terpadu. Tahap integrasi ini diikuti oleh pengujian mendalam guna memastikan keandalan dan performa optimal dari setiap komponen. Evaluasi sistem dilakukan untuk menilai sejauh mana solusi yang dikembangkan memenuhi tujuan dan kebutuhan yang telah ditetapkan sebelumnya. Dengan mematuhi metodologi yang sistematis dan komprehensif, penelitian ini mencapai tahap evaluasi fungsionalitas sistem sebagai langkah kritis untuk memastikan keberhasilan implementasi dan kontribusi positif terhadap pemecahan permasalahan yang dihadapi.

### **3.2 Metode Penelitian**

Penelitian ini menggunakan metode yaitu metode pengembangan sistem berupa metode prototipe. Menurut (Aditya dkk., 2021) metode prototipe adalah strategi pengembangan yang melibatkan pembuatan versi awal atau model yang disebut "prototipe". Prototipe ini berfungsi untuk mengeksplorasi atau menunjukkan berbagai aspek dari sistem yang sedang dirancang. Pada pengumpulan data dibagi menjadi dua bagian yaitu data primer dan data sekunder. Hal ini bertujuan untuk mencari data yang terkait seperti dasar teori, metode penelitian, acuan penelitian dan sebagainya. Pada metode prototipe digunakan untuk mengolah sebuah ide menjadi sesuatu yang berwujud fisik. Terdapat lima tahapan *prototyping* yang digunakan yaitu Tahap Komunikasi, Tahap Perencanaan, Tahap Pemodelan, Tahap Pembentukan Prototipe, dan Tahap *Deployment* (Aditya dkk., 2021).

#### **3.2.1 Instrumen Penelitian**

##### **3.2.1.1 Data Primer**

Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung dari sumber asli melalui metode pengumpulan data tertentu, seperti pengukuran menggunakan sensor. Dalam konteks penelitian ini, data tersebut terbagi ke dalam dua kategori yaitu data harian dan deret waktu. Data listrik harian berguna untuk melakukan prediksi penggunaan energi listrik menggunakan *fuzzy logic* ke dalam tiga kategori yaitu hemat, normal, dan boros. Sedangkan, deret waktu berguna sebagai data

pelatihan untuk algoritma LSTM yang berfungsi untuk memperkiraan biaya listrik di masa mendatang berdasarkan pola konsumsi energi listrik pengguna. Deret waktu dikumpulkan melalui observasi sistematis terhadap konsumsi energi listrik selama periode empat bulan. Pendekatan ini memungkinkan peneliti memperoleh informasi yang lebih akurat dan kontekstual, sehingga data primer menjadi fondasi utama dalam analisis dan interpretasi mendalam terhadap objek penelitian.

Pengumpulan deret waktu dalam studi ini dilakukan dengan mencatat konsumsi energi listrik secara rutin, meliputi variabel-variabel seperti tanggal, waktu, jumlah energi yang dikonsumsi, jenis daya yang digunakan, dan biaya yang terkait. Pengumpulan data dilakukan dalam rentang waktu dari 1 Desember 2023 hingga 31 Maret 2024. Melalui observasi yang teliti dan pencatatan yang sistematis, peneliti dapat mengumpulkan data yang sangat akurat mengenai pola konsumsi energi listrik.

Durasi pengumpulan data yang panjang memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi tren jangka panjang dan fluktuasi dalam penggunaan energi. Analisis mendalam terhadap data yang terkumpul memberikan wawasan tentang pola penggunaan energi yang dapat membantu mengidentifikasi periode puncak konsumsi, efisiensi energi, serta potensi penghematan biaya. Dengan demikian, data primer ini tidak hanya memberikan gambaran menyeluruh tentang kebiasaan penggunaan energi, tetapi juga menjadi dasar bagi rekomendasi untuk mengoptimalkan konsumsi energi di masa mendatang.

### **3.2.1.2 Data Sekunder**

Pengumpulan data sekunder dilakukan dengan mencari studi literatur terkait berdasarkan penelitian yang relevan. Tahapan ini melibatkan berbagai sumber seperti toko buku, perpustakaan hingga internet. Kemudian, dilakukan analisis data berdasarkan studi literatur yang ditemukan sehingga informasi yang digunakan berupa penyusunan kajian pustaka, metode penelitian, dan pengembangan sistem yang dilakukan. Terdapat enam referensi yang dijadikan literatur acuan yang dapat dilihat pada daftar pustaka.

### **3.2.1.3 Perangkat Penunjang Penelitian**

Pendukung utama dalam penelitian ini mencakup berbagai perangkat keras dan perangkat lunak yang esensial untuk pelaksanaan eksperimen dan analisis data

secara menyeluruh. Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian meliputi laptop, multimeter, solder, dan bor listrik. Laptop yang digunakan memiliki spesifikasi prosesor AMD Ryzen 5 3500U, RAM 8 GB, dan penyimpanan SSD 512GB. Pada aspek perangkat lunak, penelitian ini memanfaatkan beberapa *tools* yang spesifik untuk mendukung pengembangan dan analisis data. Visual Studio Code digunakan sebagai *Integrated Development Environment* (IDE) untuk pengembangan dan *debugging* kode. MATLAB digunakan untuk analisis numerik dan pengolahan data, mengingat kemampuannya yang luas dalam komputasi teknik dan analisis statistik. Google Colab dimanfaatkan untuk eksekusi kode di *cloud*, memungkinkan kolaborasi antar pengguna tanpa keterbatasan sumber daya komputasi lokal. Selain itu, Postman digunakan untuk pengujian dan pengembangan *Application Programming Interface* (API), memastikan komunikasi yang efisien antara berbagai komponen sistem.

Kombinasi perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini memungkinkan pelaksanaan penelitian secara efisien dan efektif. Laptop dengan spesifikasi yang memadai mendukung kelancaran proses komputasi yang intensif, sementara perangkat lunak yang beragam menyediakan alat yang diperlukan untuk berbagai aspek teknis penelitian. Visual Studio Code, MATLAB, Google Colab, dan Postman. Masing-masing perangkat memainkan peran penting dalam pengembangan, analisis, eksekusi, dan pengujian, memastikan bahwa penelitian ini dapat berjalan dengan dukungan teknis yang komprehensif dan terpadu. Dengan dukungan perangkat keras dan perangkat lunak yang tepat, penelitian ini diharapkan dapat mencapai hasil yang relevan.

### **3.2.2 Metode Pengembangan Sistem**

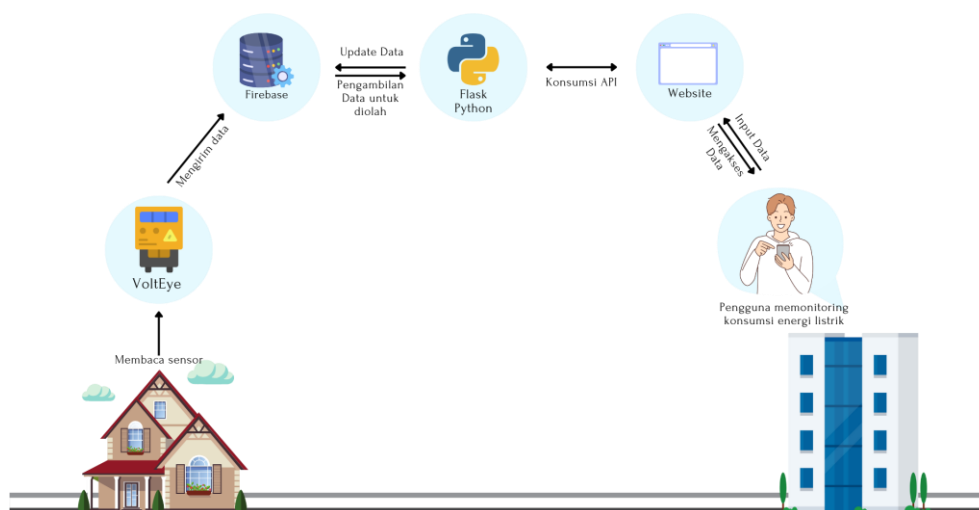
#### **3.2.2.1 Tahap Komunikasi**

Metode *prototyping* merupakan pendekatan yang dimulai dengan interaksi yang intensif antara pihak-pihak yang akan menjadi pengguna sistem dengan tujuan menentukan sasaran keseluruhan dari sistem yang sedang dikembangkan. Dalam konteks ini, langkah awal adalah mengidentifikasi kebutuhan yang dibutuhkan oleh pengguna dan menganalisis lingkungan di mana sistem tersebut akan diimplementasikan. Proses ini melibatkan komunikasi yang menyeluruh, di mana pihak-pihak terlibat mencari informasi relevan melalui studi literatur, seperti buku

dan jurnal ilmiah yang berkaitan dengan masalah pemantauan penggunaan listrik dalam rumah tangga.

Setelah mengumpulkan informasi, langkah berikutnya melibatkan diskusi mendalam dengan pakar atau ahli dalam bidang penelitian tertentu. Hal ini seringkali melibatkan pertemuan dengan dosen pembimbing skripsi, di mana permasalahan yang muncul dalam sistem pemantauan listrik dibahas secara rinci. Tujuan dari diskusi ini adalah untuk menganalisis masalah lebih lanjut, mengevaluasi berbagai solusi yang telah diajukan dan menyusun solusi yang telah teruji melalui proses pengembangan prototipe.

Pada Gambar 3.2 merupakan hasil dari tahapan ini bukan hanya menyajikan solusi yang dapat diterapkan, tetapi juga memberikan manfaat dalam konteks penelitian yang lebih luas. Arsitektur sistem yang dikembangkan melibatkan beberapa komponen teknologi untuk menghubungkan sebuah perangkat keras yang dinamakan *VoltEye* dengan pengguna akhir melalui sebuah website. Pertama, *VoltEye* ditempatkan di sebuah rumah yang berfungsi sebagai alat pengumpul data. Data dari *VoltEye* dikirimkan ke Firebase yang berperan sebagai sebuah platform penyimpanan data berbasis *cloud*. Kemudian, data yang tersimpan di Firebase diakses oleh sebuah aplikasi *backend* yang dibangun menggunakan Flask Python, sebuah framework untuk membangun aplikasi web. Flask Python berfungsi sebagai perantara antara Firebase dan website, memproses data yang diterima dari Firebase dan menyediakannya ke *frontend* website. Pengguna akhir, yang berada di gedung, dapat mengakses data melalui website menggunakan perangkat seluler mereka. Dengan demikian, seluruh arsitektur ini memungkinkan pengumpulan, penyimpanan, pengolahan, dan penyajian data dari *VoltEye* kepada pengguna akhir secara efisien dan *real-time*.



Gambar 3.2 Ilustrasi Sistem Kerja Monitoring

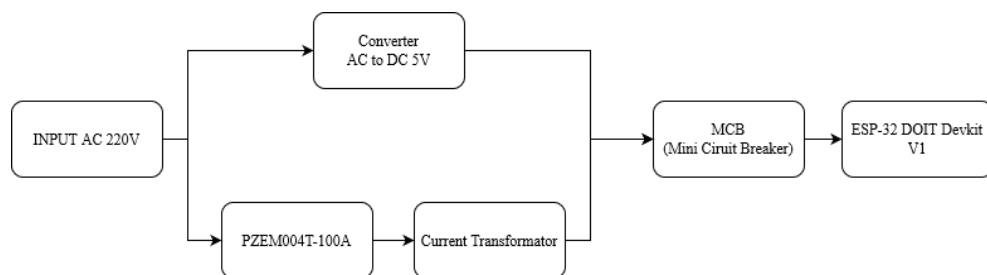
### 3.2.2.2 Tahap Perencanaan

Tahap perencanaan dilakukan untuk menganalisis kebutuhan yang diperkirakan agar sistem dapat berjalan sesuai permasalahan yang didefinisikan. Analisis perencanaan yang dilakukan pada penelitian ini meliputi perancangan alat, perancangan perangkat lunak, perancangan algoritma *fuzzy logic*, dan perancangan pemodelan algoritma peramalan.

#### 1. Perancangan Perangkat Keras

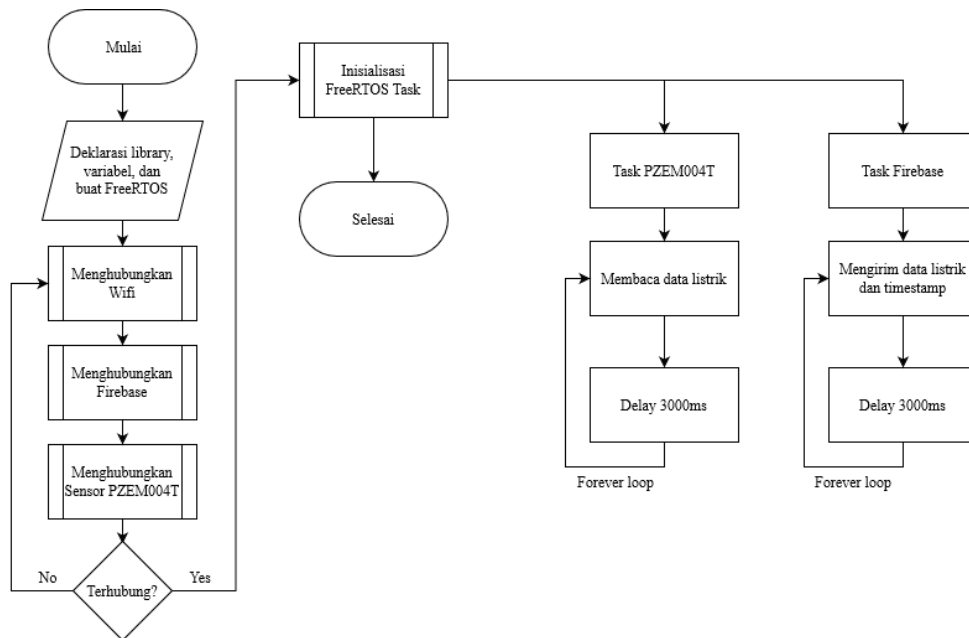
Beberapa komponen yang diperlukan dalam perancangan sistem tersebut dapat dilihat berdasarkan blok diagram pada Gambar 3.3. Dalam perancangan perangkat keras, ESP32 DEVKIT V1 berfungsi sebagai pengendali utama untuk mengoordinasikan seluruh komponen yang terhubung dalam sistem. Kemudian, sensor utama yang digunakan untuk memonitor konsumsi energi listrik pada sistem rumah tangga adalah PZEM004T-100A. *Miniature Circuit Breaker* (MCB) diterapkan sebagai pengaman untuk mengatasi beban berlebih pada aliran listrik. Pada tahap transmisi data ke server, protokol *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP) digunakan untuk memfasilitasi pertukaran data. HTTP, yang bekerja di dalam lapisan TCP, memungkinkan pengiriman gambar, video, dan data lainnya, menjadikannya salah satu protokol paling umum untuk pertukaran data dalam konteks internet (Awal, 2019). Meskipun penelitian sebelumnya (Hanif dkk., 2023) menunjukkan bahwa protokol *Message Queue Telemetry Transport* (MQTT) dapat lebih optimal dalam pengiriman data, namun penelitian ini tidak memerlukan

respons yang sangat cepat. Selain itu, MQTT, yang beroperasi di lapisan TCP/IP, dirancang secara khusus untuk mendukung komunikasi *end-to-end* tanpa memerlukan alamat yang dedikatif (Haikal dkk., 2022). Oleh karena itu, implementasi MQTT pada layanan berbasis *website* mungkin kurang optimal karena karakteristiknya yang tidak bergantung pada alamat khusus. Dalam konteks komunikasi pertukaran data antara sistem dan aplikasi web, metode yang digunakan adalah metode *half-duplex*. Metode ini memungkinkan pengiriman dan penerimaan data yang tidak dilakukan secara bersamaan, tetapi saling berbagi informasi secara bergantian (Prayudha dkk., 2020).



Gambar 3.3 Sistem Blok Diagram

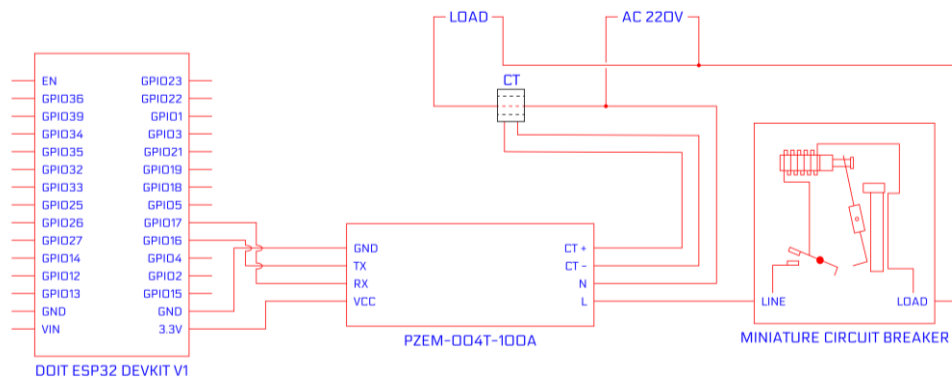
Penerapan FreeRTOS pada sistem bertujuan untuk memungkinkan pelaksanaan proses pada sistem tertanam secara bersamaan dan terjadwal, karena nilai deviasi yang dihasilkan oleh FreeRTOS cenderung lebih kecil daripada sistem non-RTOS (Razak dkk., 2022). Hal ini memastikan bahwa perangkat dapat mengeksekusi semua tugas yang diberikan pada sistem tertanam tanpa melampaui batas delay yang telah ditetapkan. Diagram alir sistem perangkat keras, sebagaimana yang tergambar pada Gambar 3.4, menunjukkan adanya tiga tugas yang terintegrasi ke dalam sistem operasi ini. Integritas dan koordinasi eksekusi tugas-tugas tersebut menjadi lebih terjamin berkat implementasi FreeRTOS pada sistem tersebut.



Gambar 3.4 Diagram Alir Sistem Perangkat Keras

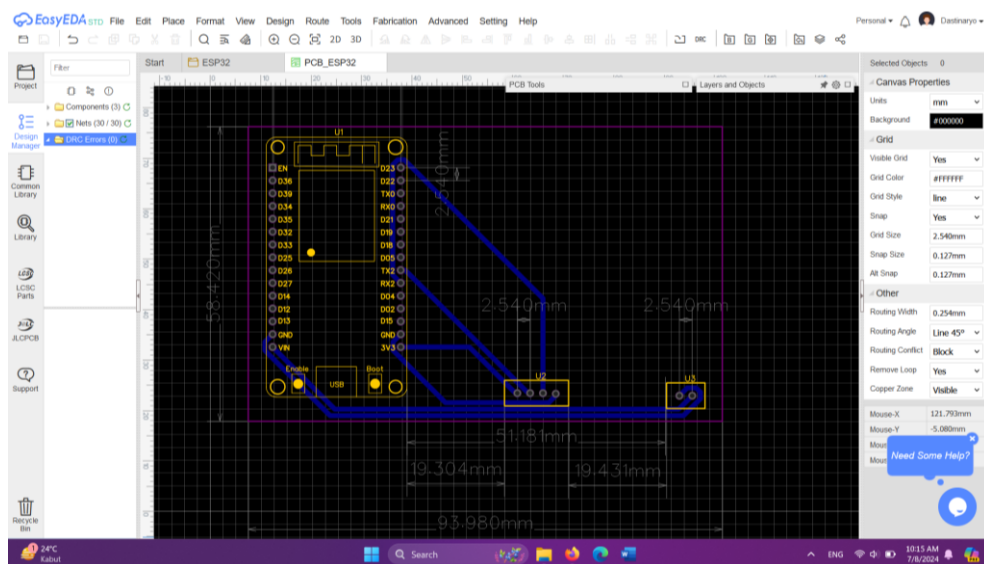
Tugas dengan prioritas utama dalam sistem operasi ini adalah melibatkan pembacaan data sensor PZEM004T-100A, yang mencakup pengukuran parameter listrik seperti energi, daya, tegangan, arus, dan faktor daya. Data listrik yang berhasil diukur akan selanjutnya dikirimkan ke platform Firebase untuk proses penyimpanan dan pengolahan lebih lanjut. Proses pengiriman data ini merupakan tugas yang memiliki prioritas kedua pada sistem operasi. Selain tugas pengiriman data listrik, perangkat juga melibatkan pembaruan variabel waktu menggunakan *NTP Client*, yang menjadi tugas dengan prioritas ketiga. Tugas ini bertanggung jawab untuk menjaga sinkronisasi waktu perangkat dengan referensi waktu yang akurat. Skematik desain sistem pemantauan, yang merinci struktur dan hubungan komponen-komponen, dapat dijelaskan lebih lanjut melalui skematik yang disajikan pada Gambar 3.5.





Gambar 3.5 Desain Skematik Sistem *Monitoring*

Berdasarkan skema yang ditampilkan pada Gambar 3.5, dilakukan perancangan desain *Printed Circuit Board* (PCB) menggunakan perangkat lunak EasyEDA. Proses perancangan ini mencakup berbagai tahap, mulai dari pembuatan skematik, penempatan komponen, hingga penentuan jalur koneksi (*routing*). PCB yang dirancang memiliki dimensi 9,3 x 5,8 cm dan dicetak dalam konfigurasi lapisan tunggal (*single layer*) yang berarti seluruh jalur koneksi diletakkan pada satu sisi papan. *Footprint* dari PCB yang akan dicetak telah disesuaikan dengan spesifikasi komponen yang digunakan. Berikut ini adalah representasi visual dari *footprint* PCB yang akan dicetak yang disajikan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 *Footprint* PCB Perangkat Keras

## 2. Perancangan Algoritma *Fuzzy Logic*

Perhitungan *fuzzy logic* diimplementasikan untuk memprediksi kategori konsumsi energi listrik harian, yang melibatkan beberapa tahapan. Tahap awal

Dastin Aryo Atmanto, 2024

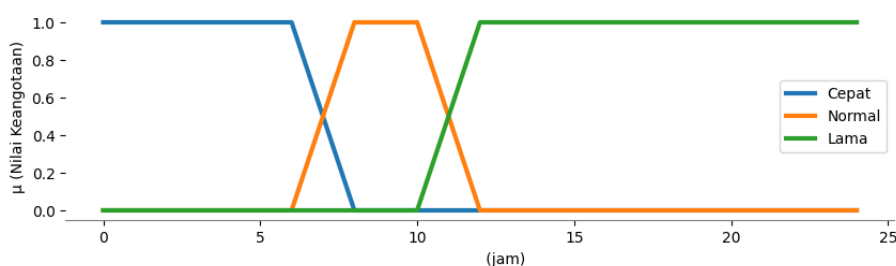
**DESAIN DAN IMPLEMENTASI ALAT MONITORING DAN PREDIKSI KONSUMSI ENERGI LISTRIK BERBASIS INTERNET OF THINGS MENGGUNAKAN DEEP LEARNING**

Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu

mencakup proses fuzzifikasi, di mana nilai *input* yang semula berbentuk pasti diubah menjadi bentuk *fuzzy* yang linguistik, disajikan sebagai himpunan *fuzzy*, dan memiliki tingkat keanggotaan pada setiap masukannya (Kurnia Ningrum dkk., 2023). Variabel *input* yang diterapkan dalam perhitungan mencakup variabel waktu, variabel energi, variabel jenis daya, dan variabel selisih biaya.

Variabel waktu memiliki nilai keanggotaan *fuzzy* dalam bentuk cepat, normal, dan lama. Di sisi lain, variabel energi dan daya memiliki tiga nilai keanggotaan *fuzzy*, yaitu rendah, normal, dan tinggi. Sementara itu, variabel selisih biaya memiliki nilai keanggotaan *fuzzy* berupa murah, normal, dan mahal. Rentang nilai keanggotaan variabel waktu berkisar dari 0 hingga 24, mencerminkan durasi waktu selama satu hari dalam satuan jam. Fungsi keanggotaan variabel waktu didefinisikan sebagai cepat, normal, dan lama.

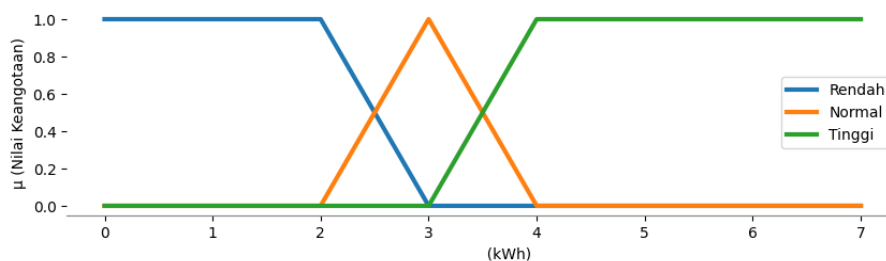
Misalnya, himpunan *fuzzy* keanggotaan cepat memiliki domain pada nilai 0, 6, dan 8. Himpunan *fuzzy* keanggotaan normal mencakup nilai 6, 8, 10, dan 12. Sementara, himpunan *fuzzy* keanggotaan lama memiliki domain pada nilai 10, 12, dan 24. Grafik fungsi keanggotaan variabel waktu yang menggambarkan ketiga himpunan *fuzzy* tersebut disajikan pada Gambar 3.7. Penjelasan ini merinci aspek fuzzifikasi yang melibatkan definisi keanggotaan dan domain nilai untuk setiap variabel *input*, menciptakan dasar bagi sistem *fuzzy* untuk memproses prediksi kategori konsumsi energi listrik harian.



Gambar 3.7 Nilai Keanggotaan Variabel Waktu

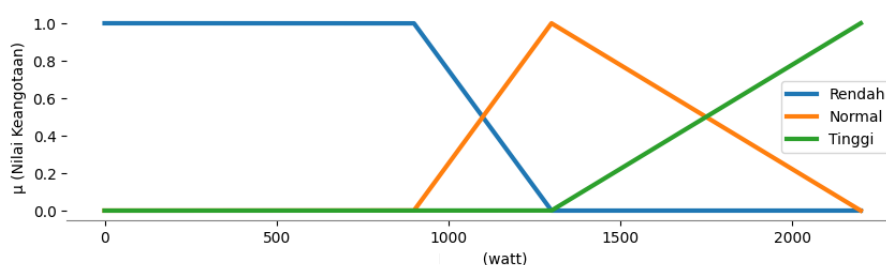
Analisis variabel energi, sebagaimana digambarkan dalam grafik fungsi keanggotaan pada Gambar 3.8, menetapkan rentang nilai dari 0 hingga 7. Rentang ini menggambarkan besaran penggunaan energi (dinyatakan dalam kilowatt-hour, kWh) selama satu hari. Variabel energi dijelaskan melalui tiga fungsi keanggotaan, yaitu rendah, normal, dan tinggi. Himpunan *fuzzy* keanggotaan rendah memiliki domain pada nilai 0, 2, dan 3. Selanjutnya, himpunan *fuzzy* dengan keanggotaan

normal mencakup nilai 2, 3, dan 4. Sementara, himpunan *fuzzy* keanggotaan tinggi memiliki domain pada nilai 3, 4, dan 7. Analisis ini memberikan gambaran jelas tentang karakteristik variabel energi dan sejauh mana besarnya penggunaan energi dapat diklasifikasikan dalam ketiga tingkatan keanggotaan tersebut.



Gambar 3.8 Nilai Keanggotaan Variabel Energi

Variabel jenis daya, dalam konteks penggunaan harian, memiliki rentang nilai keanggotaan dari 0 hingga 2200, dinyatakan dalam satuan watt. Variabel ini juga ditetapkan dengan tiga fungsi keanggotaan, yaitu rendah, normal, dan tinggi. Himpunan *fuzzy* keanggotaan rendah memiliki domain pada nilai 0, 900, dan 1300. Himpunan *fuzzy* dengan keanggotaan normal mencakup nilai 900, 1300, dan 2200. Sementara, himpunan *fuzzy* keanggotaan tinggi memiliki domain pada nilai 1300 dan 2200. Grafik nilai keanggotaan dari variabel jenis daya dapat dilihat pada Gambar 3.9, yang memberikan pandangan visual terhadap ketiga himpunan *fuzzy* tersebut dan membantu interpretasi atas berbagai tingkatan penggunaan daya listrik harian.



Gambar 3.9 Nilai Keanggotaan Variabel Jenis Daya

Variabel selisih biaya dihasilkan melalui proses estimasi yang melibatkan perhitungan perbedaan rata-rata biaya pada suatu tanggal tertentu ( $X_{\text{bulan}}$ ) dengan rata-rata biaya pada tanggal yang sama dan pada bulan sebelumnya ( $X_{\text{bulan-1}}$ ). Metode perhitungan ini merupakan suatu prosedur perbandingan antar periode yang bertujuan untuk menganalisis fluktuasi biaya pada interval waktu tertentu. Sebagai

ilustrasi, perhitungan selisih biaya pada tanggal 5 Desember 2023 dilakukan melalui operasi pengurangan antara rata-rata biaya pada bulan X dengan rata-rata biaya pada tanggal 5 November 2023. Adapun estimasi selisih biaya dapat dihitung menggunakan rumus berikut

$$SB = \frac{\sum_{k=1}^n \binom{n}{k} x_{bulan}}{n} - \frac{\sum_{k=1}^n \binom{n}{k} x_{bulan-1}}{n} \quad (1)$$

Dimana:

SB = Selisih biaya (Rp)

$x_{bulan}$  = Biaya dari konsumsi listrik pada tanggal tertentu (Rp)

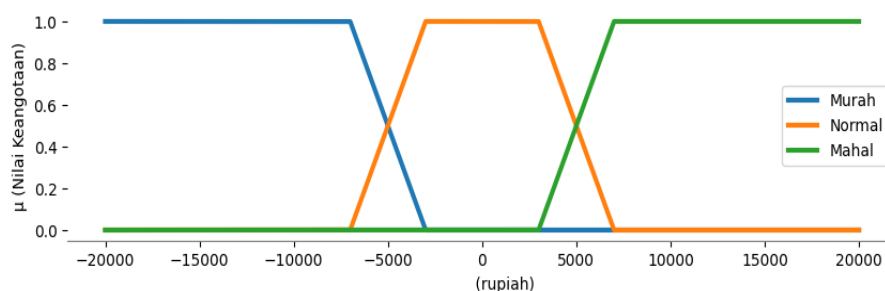
$x_{bulan-1}$  = Biaya dari konsumsi listrik pada tanggal yang sama pada bulan lalu (Rp)

n = Tanggal

Proses perhitungan ini memberikan gambaran yang lebih mendalam terhadap perubahan biaya dari satu periode ke periode berikutnya, memberikan dasar analisis untuk evaluasi fluktuasi biaya pada interval waktu yang telah ditentukan. Metode ini dapat diterapkan pada rentang waktu tertentu untuk mengidentifikasi tren dan pola perubahan biaya, yang dapat menjadi landasan untuk pengambilan keputusan yang informasional dan efektif. Pada grafik nilai keanggotaan variabel selisih biaya yang terlihat pada Gambar 3.10, dapat diidentifikasi bahwa variabel selisih biaya memiliki rentang nilai keanggotaan yang berkisar antara -20,000 hingga 20,000. Rentang nilai ini mencerminkan besaran selisih biaya yang diukur selama satu hari dan dinyatakan dalam satuan tertentu, dengan fungsi keanggotaan yang dibagi menjadi kategori normal dan boros.

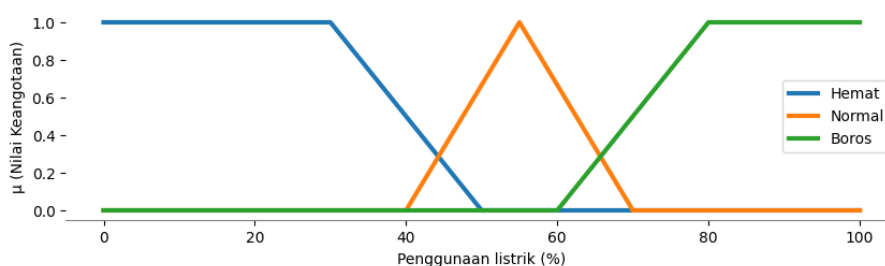
Himpunan *fuzzy* keanggotaan murah didefinisikan dengan domain pada nilai -20,000, -7,000, dan -3,000. Sementara itu, himpunan *fuzzy* keanggotaan normal mencakup domain nilai -7,000, -3,000, 3,000, dan 7,000. Pada himpunan *fuzzy* keanggotaan mahal, domainnya terletak pada nilai 3,000, 7,000, dan 20,000. Analisis ini memberikan pemahaman mendalam mengenai tingkatan keanggotaan variabel selisih biaya dalam konteks pengukuran fluktuasi biaya harian. Grafik nilai keanggotaan ini memberikan landasan visual untuk memahami distribusi dan klasifikasi selisih biaya dalam kategori murah, normal, dan mahal, yang dapat

menjadi dasar bagi pengambilan keputusan terinformasi dalam manajemen energi listrik.



Gambar 3.10 Nilai Keanggotaan Variabel Selisih Biaya

Variabel *output* pada penelitian ini berperan dalam memprediksi penggunaan listrik berdasarkan konsumsi selama satu hari. Rentang nilai *output* dari variabel ini ditetapkan antara 0 hingga 100 dan dibagi menjadi tiga fungsi keanggotaan, yakni hemat, normal, dan boros. Himpunan *fuzzy* keanggotaan hemat didefinisikan dengan domain pada nilai 0, 30, dan 50. Himpunan *fuzzy* keanggotaan normal mencakup domain nilai 40, 55, dan 70. Sementara itu, himpunan *fuzzy* keanggotaan boros memiliki domain pada nilai 60, 80, dan 100. Analisis ini menunjukkan bahwa variabel *output* memberikan informasi terkait tingkatan hemat, normal, dan boros berdasarkan prediksi penggunaan listrik. Rentang nilai 0 hingga 100 mencerminkan skala relatif dari penggunaan listrik, dan fungsi keanggotaan yang ditetapkan memungkinkan pengelompokan yang jelas dalam tiga kategori yang bermakna. Grafik nilai keanggotaan dari variabel *output* penggunaan listrik, yang disajikan pada Gambar 3.11, memberikan representasi visual yang mendukung interpretasi terhadap tingkatan keanggotaan dan membantu dalam memahami hasil prediksi penggunaan listrik dengan lebih efektif.



Gambar 3.11 Nilai keanggotaan Variabel *Output* Penggunaan Listrik

Pemodelan *fuzzy* dalam kerangka penelitian ini mengadopsi model Mamdani, yang dipilih untuk mengatasi kurva secara presisi dalam menghadapi nilai

keanggotaan yang kompleks. Model Mamdani memungkinkan penanganan kurva secara lebih tepat, terutama dalam situasi di mana nilai keanggotaan bersifat rumit. Pada perancangan aturan *fuzzy logic*, aturan-aturan dibentuk berdasarkan pemetaan variabel *input* dan *output*, sehingga sistem yang dibangun dapat berfungsi secara optimal tanpa harus melewati proses komposisi dan dekomposisi (Irsan dkk., 2019).

Variabel Waktu (W), Energi (E), Daya (D), dan Selisih Biaya (SB) diidentifikasi sebagai variabel *input* pada model *fuzzy logic* yang diimplementasikan. Sementara itu, variabel *output* yang digunakan untuk memodelkan penggunaan listrik dalam konteks *fuzzy logic* ini dinyatakan sebagai (PL), yang mencerminkan prediksi penggunaan listrik harian. Aturan-aturan *fuzzy logic* yang merinci hubungan antara variabel *input* dan *output* pada sistem yang dirancang, dapat ditemukan dalam Tabel 3.1. Tabel ini mencatat aturan-aturan *fuzzy logic* yang telah dibangun, memberikan landasan sistematis untuk pemetaan variabel *input* menjadi variabel *output* dalam konteks prediksi penggunaan listrik. Pendekatan ini secara efektif memodelkan keterkaitan kompleks antara variabel-variabel tersebut, memungkinkan sistem *fuzzy* untuk memberikan prediksi dengan tingkat kepresisian yang optimal.

Tabel 3.1  
Aturan-aturan *Fuzzy Logic*

No.	Aturan <i>Fuzzy</i>
1	IF (W=Cepat & E=Rendah & D=Rendah & SB=Murah) THEN (PL=Hemat)
2	IF (W=Cepat & E=Rendah & D=Rendah & SB=Normal) THEN (PL=Hemat)
3	IF (W=Cepat & E=Rendah & D=Rendah & SB=Mahal) THEN (PL=Hemat)
4	IF (W=Cepat & E=Rendah & D=Normal & SB=Murah) THEN (PL=Hemat)
5	IF (W=Cepat & E=Rendah & D=Normal & SB=Normal) THEN (PL=Hemat)
6	IF (W=Cepat & E=Rendah & D=Normal & SB=Mahal) THEN (PL=Normal)
7	IF (W=Cepat & E=Rendah & D=Tinggi & SB=Murah) THEN (PL=Hemat)
8	IF (W=Cepat & E=Rendah & D=Tinggi & SB=Normal) THEN (PL=Normal)
9	IF (W=Cepat & E=Rendah & D=Tinggi & SB=Mahal) THEN (PL=Normal)
10	IF (W=Cepat & E=Normal & D=Rendah & SB=Murah) THEN (PL=Hemat)
11	IF (W=Cepat & E=Normal & D=Rendah & SB=Normal) THEN (PL=Hemat)
12	IF (W=Cepat & E=Normal & D=Rendah & SB=Mahal) THEN (PL=Normal)

No.	Aturan Fuzzy
13	IF (W=Cepat & E=Normal & D=Normal & SB=Murah) THEN (PL=Normal)
14	IF (W=Cepat & E=Normal & D=Normal & SB=Normal) THEN (PL=Normal)
15	IF (W=Cepat & E=Normal & D=Normal & SB=Mahal) THEN (PL=Normal)
16	IF (W=Cepat & E=Normal & D=Tinggi & SB=Murah) THEN (PL=Normal)
17	IF (W=Cepat & E=Normal & D=Tinggi & SB=Normal) THEN (PL=Normal)
18	IF (W=Cepat & E=Normal & D=Tinggi & SB=Mahal) THEN (PL=Normal)
19	IF (W=Cepat & E=Tinggi & D=Rendah & SB=Murah) THEN (PL=Normal)
20	IF (W=Cepat & E=Tinggi & D=Rendah & SB=Normal) THEN (PL=Boros)
21	IF (W=Cepat & E=Tinggi & D=Rendah & SB=Mahal) THEN (PL=Boros)
22	IF (W=Cepat & E=Tinggi & D=Normal & SB=Murah) THEN (PL=Boros)
23	IF (W=Cepat & E=Tinggi & D=Normal & SB=Normal) THEN (PL=Boros)
24	IF (W=Cepat & E=Tinggi & D=Normal & SB=Mahal) THEN (PL=Boros)
25	IF (W=Cepat & E=Tinggi & D=Tinggi & SB=Murah) THEN (PL=Boros)
26	IF (W=Cepat & E=Tinggi & D=Tinggi & SB=Normal) THEN (PL=Boros)
27	IF (W=Cepat & E=Tinggi & D=Tinggi & SB=Mahal) THEN (PL=Boros)
28	IF (W=Normal & E=Rendah & D=Rendah & SB=Murah) THEN (PL=Hemat)
29	IF (W=Normal & E=Rendah & D=Rendah & SB=Normal) THEN (PL=Hemat)
30	IF (W=Normal & E=Rendah & D=Rendah & SB=Mahal) THEN (PL=Hemat)
31	IF (W=Normal & E=Rendah & D=Normal & SB=Murah) THEN (PL=Hemat)
32	IF (W=Normal & E=Rendah & D=Normal & SB=Normal) THEN (PL=Hemat)
33	IF (W=Normal & E=Rendah & D=Normal & SB=Mahal) THEN (PL=Hemat)
34	IF (W=Normal & E=Rendah & D=Tinggi & SB=Murah) THEN (PL=Normal)
35	IF (W=Normal & E=Rendah & D=Tinggi & SB=Normal) THEN (PL=Normal)
36	IF (W=Normal & E=Rendah & D=Tinggi & SB=Mahal) THEN (PL=Normal)
37	IF (W=Normal & E=Normal & D=Rendah & SB=Murah) THEN (PL=Hemat)
38	IF (W=Normal & E=Normal & D=Rendah & SB=Normal) THEN (PL=Normal)
39	IF (W=Normal & E=Normal & D=Rendah & SB=Mahal) THEN (PL=Normal)
40	IF (W=Normal & E=Normal & D=Normal & SB=Murah) THEN (PL=Normal)
41	IF (W=Normal & E=Normal & D=Normal & SB=Normal) THEN (PL=Normal)
42	IF (W=Normal & E=Normal & D=Normal & SB=Mahal) THEN (PL=Normal)
43	IF (W=Normal & E=Normal & D=Tinggi & SB=Murah) THEN (PL=Normal)

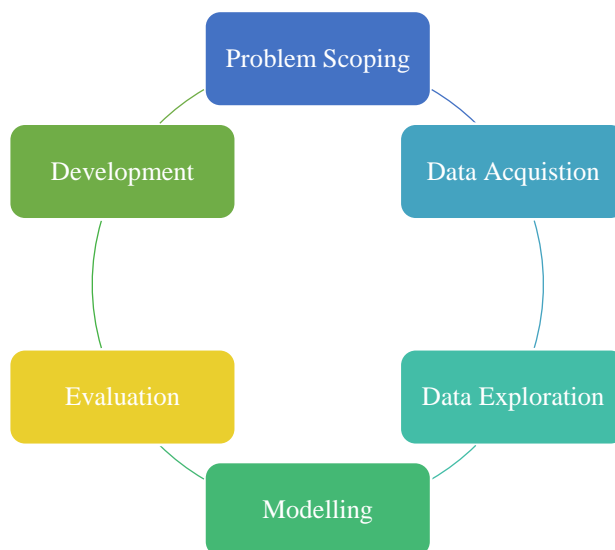
No.	Aturan Fuzzy
44	IF(W=Normal & E=Normal & D=Tinggi & SB=Normal) THEN(PL=Normal)
45	IF (W=Normal & E=Normal & D=Tinggi & SB=Mahal) THEN (PL=Normal)
46	IF (W=Normal & E=Tinggi & D=Rendah & SB=Murah) THEN (PL=Normal)
47	IF (W=Normal & E=Tinggi & D=Rendah & SB=Normal) THEN (PL=Boros)
48	IF (W=Normal & E=Tinggi & D=Rendah & SB=Mahal) THEN (PL=Boros)
49	IF (W=Normal & E=Tinggi & D=Normal & SB=Murah) THEN (PL=Boros)
50	IF (W=Normal & E=Tinggi & D=Normal & SB=Normal) THEN (PL=Boros)
51	IF (W=Normal & E=Tinggi & D=Normal & SB=Mahal) THEN (PL=Boros)
52	IF (W=Normal & E=Tinggi & D=Tinggi & SB=Murah) THEN (PL=Boros)
53	IF (W=Normal & E=Tinggi & D=Tinggi & SB=Normal) THEN (PL=Boros)
54	IF (W=Normal & E=Tinggi & D=Tinggi & SB=Mahal) THEN (PL=Boros)
55	IF (W=Lama & E=Rendah & D=Rendah & SB=Murah) THEN (PL=Hemat)
56	IF (W=Lama & E=Rendah & D=Rendah & SB=Normal) THEN (PL=Hemat)
57	IF (W=Lama & E=Rendah & D=Rendah & SB=Mahal) THEN (PL=Hemat)
58	IF (W=Lama & E=Rendah & D=Normal & SB=Murah) THEN (PL=Hemat)
59	IF (W=Lama & E=Rendah & D=Normal & SB=Normal) THEN (PL=Hemat)
60	IF (W=Lama & E=Rendah & D=Normal & SB=Mahal) THEN (PL=Hemat)
61	IF (W=Lama & E=Rendah & D=Tinggi & SB=Murah) THEN (PL=Hemat)
62	IF (W=Lama & E=Rendah & D=Tinggi & SB=Normal) THEN (PL=Hemat)
63	IF (W=Lama & E=Rendah & D=Tinggi & SB=Mahal) THEN (PL=Hemat)
64	IF (W=Lama & E=Normal & D=Rendah & SB=Murah) THEN (PL=Hemat)
65	IF (W=Lama & E=Normal & D=Rendah & SB=Normal) THEN (PL=Hemat)
66	IF (W=Lama & E=Normal & D=Rendah & SB=Mahal) THEN (PL=Hemat)
67	IF (W=Lama & E=Normal & D=Normal & SB=Murah) THEN (PL=Hemat)
68	IF (W=Lama & E=Normal & D=Normal & SB=Normal) THEN (PL=Hemat)
69	IF (W=Lama & E=Normal & D=Normal & SB=Mahal) THEN (PL=Hemat)
70	IF (W=Lama & E=Normal & D=Tinggi & SB=Murah) THEN (PL=Normal)
71	IF (W=Lama & E=Normal & D=Tinggi & SB=Normal) THEN (PL=Normal)
72	IF (W=Lama & E=Normal & D=Tinggi & SB=Mahal) THEN (PL=Normal)
73	IF (W=Lama & E=Tinggi & D=Rendah & SB=Murah) THEN (PL=Normal)
74	IF (W=Lama & E=Tinggi & D=Rendah & SB=Normal) THEN (PL=Hemat)



No.	Aturan Fuzzy
75	IF (W=Lama & E=Tinggi & D=Rendah & SB=Mahal) THEN (PL=Normal)
76	IF (W=Lama & E=Tinggi & D=Normal & SB=Murah) THEN (PL=Normal)
77	IF (W=Lama & E=Tinggi & D=Normal & SB=Normal) THEN (PL=Boros)
78	IF (W=Lama & E=Tinggi & D=Normal & SB=Mahal) THEN (PL=Boros)
79	IF (W=Lama & E=Tinggi & D=Tinggi & SB=Murah) THEN (PL=Boros)
80	IF (W=Lama & E=Tinggi & D=Tinggi & SB=Normal) THEN (PL=Boros)
81	IF (W=Lama & E=Tinggi & D=Tinggi & SB=Mahal) THEN (PL=Boros)

### 3. Perancangan Algoritma Peramalan

Pada perancangan algoritma *Artificial Intelligence* (AI) secara utuh, penelitian ini menggunakan metode *AI Project Cycle* yang dapat dilihat pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12 *AI Project Cycle*

Tahapan ini bertujuan untuk mengembangkan model *Long Short-Term Memory* (LSTM) yang mampu memprediksi konsumsi energi listrik dengan akurasi tinggi. Pemilihan model tersebut berdasarkan (Klyuev dkk., 2022) yang menyoroti bahwa model LSTM merupakan algoritma peramalan yang cocok digunakan perkiraan dalam jangka periode dari harian hingga mingguan bahkan bulanan. Berbeda dengan ARIMA yang memiliki jangka periode dari bulanan hingga tahunan. Selain itu, berdasarkan (Elsaraiti & Merabet, 2021) memiliki akurasi yang lebih baik. Proses pengembangan model LSTM melibatkan beberapa tahapan utama yang dirancang secara sistematis untuk memastikan keandalan dan validitas

model. Tahap pertama dalam pengembangan model LSTM adalah pengumpulan dataset *private* yang berisi data konsumsi energi listrik. Dataset ini kemudian diproses menjadi dua versi yaitu data yang mengandung anomali dan data yang tidak mengandung anomali.

Setelah pembentukan dua versi dataset, langkah selanjutnya adalah melakukan pembagian kumpulan data menjadi tiga bagian yaitu 70% untuk pelatihan (*training*), 20% untuk validasi (*validation*), dan 10% untuk pengujian (*testing*). Pembagian ini bertujuan untuk memastikan bahwa model dilatih pada sebagian besar data, sementara tetap mempertahankan data yang cukup untuk validasi dan pengujian guna mengevaluasi kinerja model secara obyektif.

Tahap berikutnya adalah melakukan *feature scaling* menggunakan metode *Standardization*. Proses ini dilakukan dengan menggunakan *StandardScaler* dari *library scikit-learn*, yang akan mentransformasi data sehingga memiliki mean dan varians yang seragam. Standardisasi ini penting untuk memastikan bahwa fitur-fitur data berada dalam skala yang sama, sehingga mempercepat konvergensi dan meningkatkan stabilitas pelatihan model LSTM.

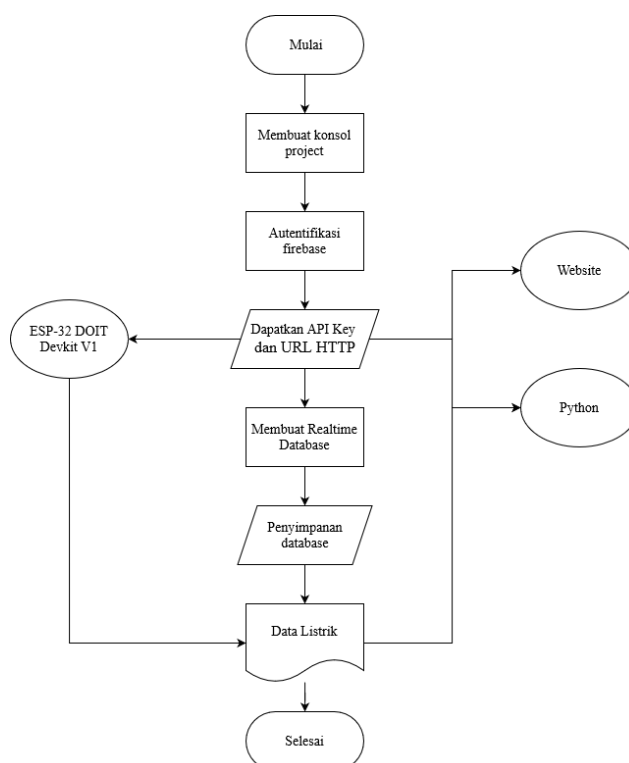
Setelah data diproses, langkah selanjutnya adalah pembangunan model LSTM. Model LSTM dirancang untuk menangani deret waktu, dan kemampuan memorinya yang panjang memungkinkan model ini untuk menangkap dependensi temporal yang kompleks dalam data konsumsi energi listrik. Arsitektur model melibatkan beberapa layer LSTM, dengan unit LSTM yang dapat diatur (misalnya, 16, 32, 64, atau 128) serta penerapan *dropout* untuk mencegah *overfitting*. Dengan mengikuti tahapan-tahapan ini, penelitian diharapkan dapat menghasilkan model LSTM yang efektif dan efisien dalam memprediksi konsumsi energi listrik. Model ini tidak hanya diharapkan dapat memberikan prediksi yang akurat, tetapi juga mampu menangani berbagai kondisi data, baik yang normal maupun yang mengandung anomali. Hasil dari pengembangan model ini dapat memberikan kontribusi signifikan dalam bidang manajemen energi, dengan aplikasi potensial dalam mengoptimalkan konsumsi dan penghematan biaya energi.

#### 4. Perancangan Perangkat Lunak

Tahapan ini mencakup perancangan perangkat lunak yang terwujud dalam bentuk aplikasi berbasis web yang terhubung dengan platform Firebase. Firebase

merupakan suatu layanan penyimpanan data yang menggunakan teknologi *cloud*, yang disediakan oleh Google Firebase (Alfian, 2021). Pemilihan teknologi *cloud* untuk penyimpanan data memberikan keunggulan dalam kemampuan akses aplikasi secara *real-time* terhadap data yang tersimpan. Aplikasi ini dirancang menggunakan Flask pada bahasa pemrograman Python sebagai *back-end services* yang memberikan efisiensi dalam penyediaan layanan *back-end*.

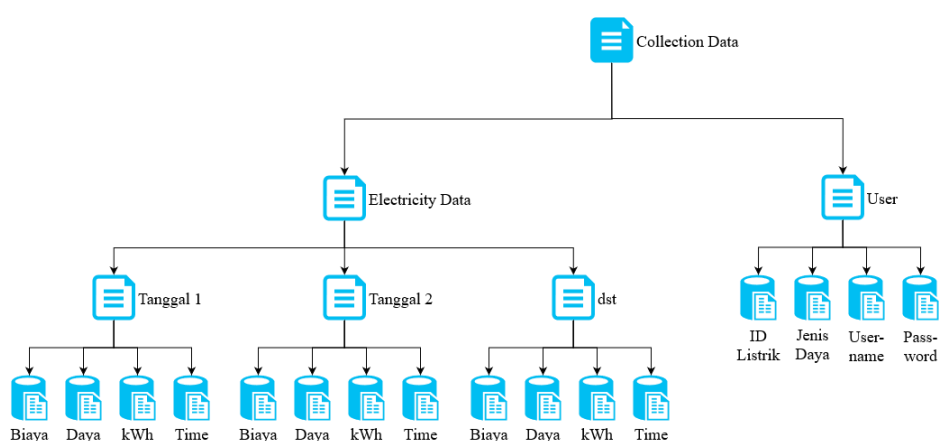
Diagram alir perencanaan sistem perangkat lunak berbasis *website* ini dapat dilihat pada Gambar 3.13 yang memberikan gambaran visual mengenai tahapan-tahapan yang diimplementasikan dalam desain aplikasi. Tahap ini bukan hanya mencakup aspek teknis dari perangkat lunak, tetapi juga mempertimbangkan integrasi dengan teknologi *cloud* untuk penyimpanan data, menciptakan suatu ekosistem yang dapat memberikan layanan secara efisien dan responsif dalam pengolahan data secara *real-time*.



Gambar 3.13 Diagram Alir Perencanaan Sistem Perangkat Lunak

Dalam kerangka penelitian ini, aplikasi dirancang memiliki beberapa untuk memenuhi kebutuhan analisis, khususnya dalam *monitoring* penggunaan listrik. Fitur ini dilengkapi dengan grafik analisis yang bertujuan untuk menggambarkan pola konsumsi listrik pada interval waktu tertentu. Penggunaan metode grafik

analisis dipilih dengan tujuan memberikan visualisasi yang lebih efektif terhadap tren penggunaan listrik, yang pada gilirannya dapat memperkuat analisis terhadap konsumsi energi listrik (Radhi dkk., 2022). Selanjutnya, aplikasi ini menyediakan halaman analisis konsumsi listrik menggunakan pendekatan *fuzzy logic* untuk memprediksi konsumsi listrik harian, mengkategorikannya dalam tiga tingkatan, yaitu hemat, normal, atau boros. Implementasi *fuzzy logic* pada aplikasi bertujuan untuk meningkatkan kesadaran pengguna terhadap pengendalian energi listrik. Struktur data yang disimpan pada platform Firebase, yang mencakup semua informasi terkait penggunaan listrik dan prediksi *fuzzy*, dapat dijelaskan lebih lanjut melalui representasi skematis yang tergambar pada Gambar 3.14. Pilihan struktur data yang tepat pada Firebase menjadi kunci untuk memastikan efisiensi penyimpanan dan akses data secara *real-time* dalam ekosistem aplikasi ini.

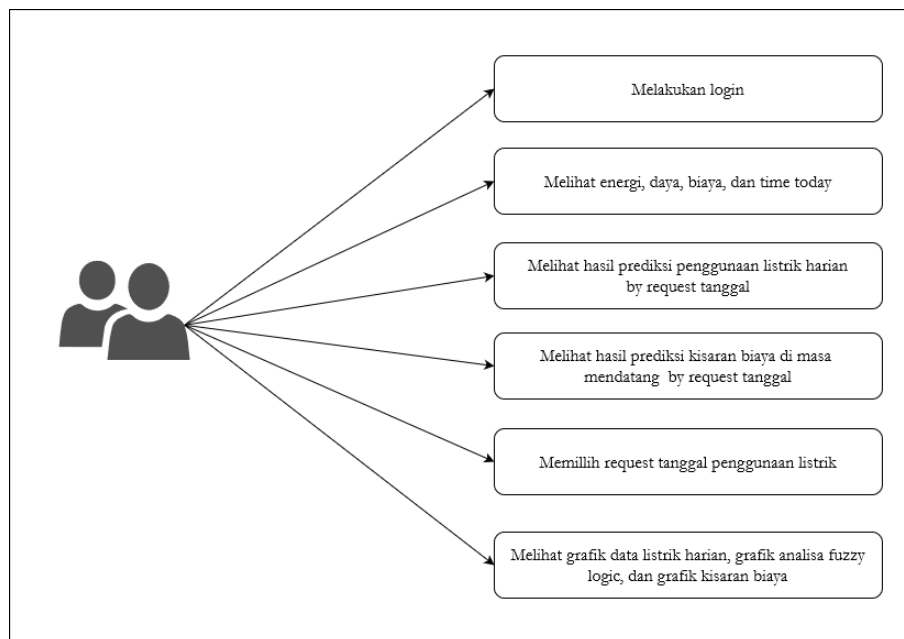


Gambar 3.14 Struktur Data Pada Platform Firebase

Rancangan ilustrasi terkait hubungan antara pengguna dengan sistem disajikan pada Gambar 3.15. Pengguna harus melakukan *login* ke dalam sistem untuk mengakses fitur-fitur lainnya. Proses ini merupakan langkah awal yang penting untuk memastikan keamanan dan otentikasi pengguna. Setelah berhasil *login*, pengguna dapat melihat informasi mengenai energi yang digunakan, daya yang terpakai, biaya yang dikeluarkan, dan waktu yang sedang digunakan. Fitur ini memberikan gambaran umum tentang penggunaan energi secara *real-time*, membantu pengguna memantau konsumsi energi mereka.

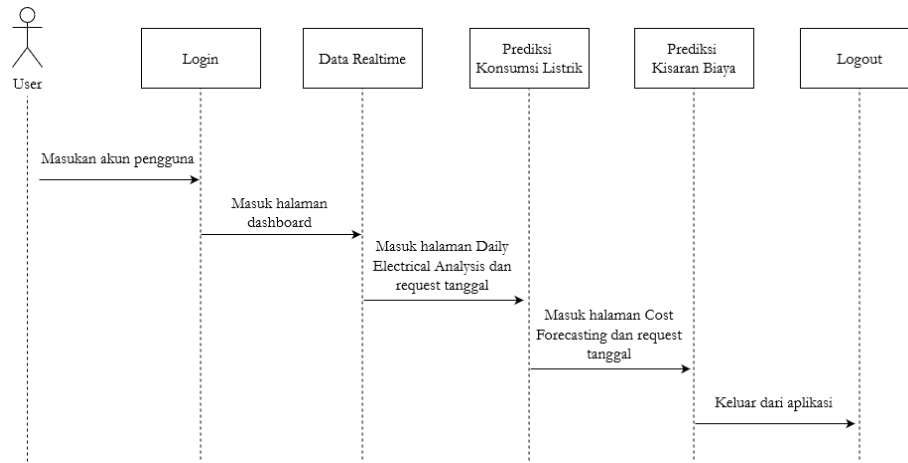
Selanjutnya, pengguna memiliki opsi untuk melihat prediksi penggunaan listrik harian berdasarkan tanggal yang diminta sehingga memungkinkan pengguna untuk

mengelola konsumsi energi dengan lebih efisien. Selain itu, pengguna juga dapat melihat prediksi kisaran biaya yang akan dikeluarkan pada tanggal tertentu di masa mendatang. Fitur ini mendukung perencanaan anggaran konsumsi energi, memberikan estimasi biaya yang akan dikeluarkan. Pengguna juga dapat memilih tanggal tertentu untuk melihat penggunaan listrik pada tanggal tersebut. Fitur ini memberikan fleksibilitas bagi pengguna untuk mengakses data historis atau data prediksi sesuai kebutuhan mereka. Selain itu, pengguna bisa melihat berbagai jenis grafik yang menyediakan visualisasi data, termasuk grafik penggunaan listrik harian, grafik analisa *fuzzy logic*, dan grafik kisaran biaya. Grafik-grafik ini memudahkan pengguna untuk memahami pola dan tren dalam penggunaan listrik serta biaya yang terkait.



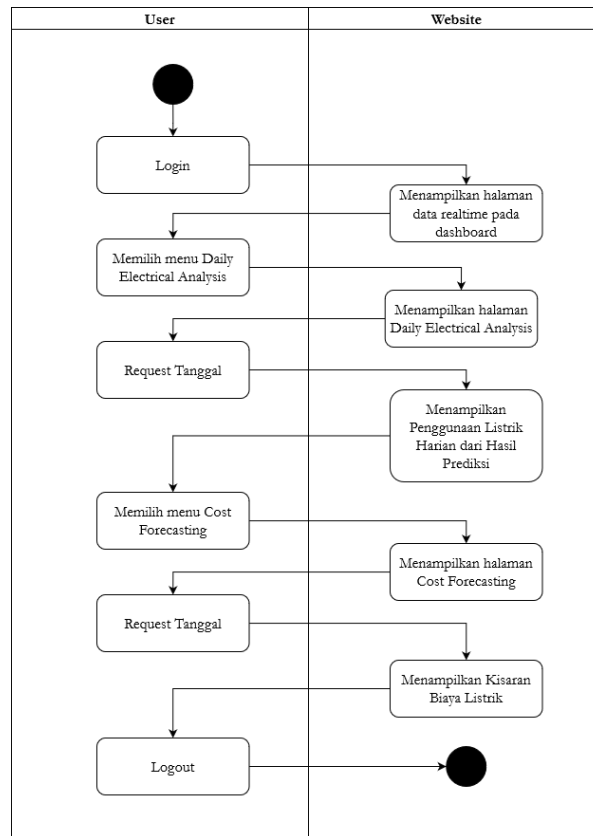
Gambar 3.15 Use Case

Pada perancangan aplikasi membutuhkan deskripsi yang sistematis mengenai interaksi antar objek dalam sistem dengan urutan secara terdefinisi yang mencakup pengiriman pesan-pesan pada waktu yang bersamaan. Oleh karena itu, pembuatan *sequence diagram* bertujuan untuk mengarahkan proses perancangan sistem. Detail interaksi yang terjadi dalam aplikasi dapat dilihat pada Gambar 3.16.



Gambar 3.16 *Sequence Diagram User*

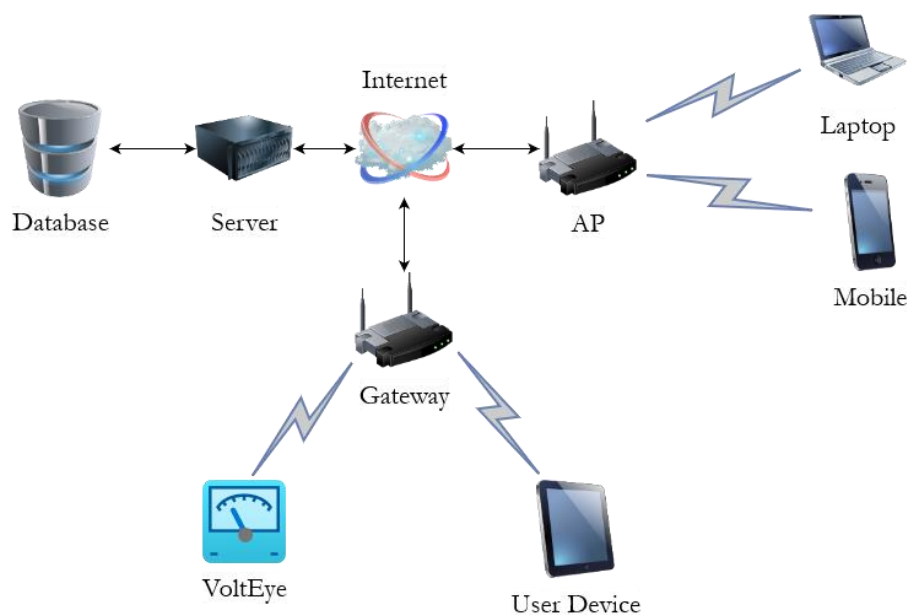
Pada tahap awal, pengguna memulai interaksi terhadap sistem dengan memasukkan informasi akun pengguna, seperti *username* dan *password*. Informasi ini diterima dan diverifikasi pada saat proses *login*. Setelah informasi akun diverifikasi, pengguna diarahkan ke halaman *dashboard* utama yang memungkinkan melihat penggunaan listrik secara *real-time* dan mengakses lebih lanjut ke fitur-fitur sistem. Selanjutnya, pengguna dapat mengakses halaman *Daily Electrical Analysis* untuk melihat riwayat penggunaan energi listrik serta prediksi penggunaan listrik hariannya. Pada halaman ini, pengguna diminta untuk mengajukan permintaan data berdasarkan tanggal tertentu yang diinginkan. Setelah itu, pengguna dapat melanjutkan ke halaman *Cost Forecasting* untuk melihat kisaran biaya listrik pada masa mendatang. Pengguna juga diminta untuk mengajukan permintaan berdasarkan tanggal tertentu untuk mendapatkan prediksi biaya konsumsi listrik. Kemudian, sistem akan memproses permintaan pengguna dan memberikan prediksi terkait biaya konsumsi listrik berdasarkan data yang diminta. Setelah selesai menggunakan aplikasi, pengguna dapat keluar dari sistem dengan mengakses opsi *logout* yang disediakan untuk mengakhiri sesi penggunaan. Adapun berikut visualisasi lebih lanjut terkait urutan aktivitas dalam alur kerja dari aplikasi yang dibangun dapat dilihat pada Gambar 3.17.



Gambar 3.17 Activity Diagram

### 3.2.2.3 Tahap Pemodelan

Pada tahapan ini dilakukan penyusunan suatu model skematik sistem yang merangkum integrasi seluruh sensor yang akan diimplementasikan dalam sistem pemantauan daya listrik. Proses ini melibatkan serangkaian langkah yang terstruktur dan sistematis meliputi perancangan pembuatan skematik desain ilustrasi arsitektur sistem. Sistem dirancang untuk membaca data listrik dan dikirim ke Firebase. Kemudian, data tersebut akan ditampilkan pada aplikasi berbasis web dengan menggunakan *back-end services* Flask pada Python. Sehingga pengguna dapat mengakses dan memantau konsumsi energi listrik dari manapun. Tahapan ini bertujuan untuk mempermudah perancangan tata letak serta integrasi seluruh sistem dan memastikan bahwa sistem dapat berjalan dengan baik. Adapun berikut arsitektur dari sistem yang dirancang disajikan pada Gambar 3.18.



Gambar 3.18 Arsitektur Sistem

#### 3.2.2.4 Tahap Pembentukan Prototipe

Tahap Konstruksi dengan merancang perangkat agar seluruh komponen antara sensor, aktuator, dan *microcontroller* dapat terhubung. Hasil pengukuran sensor dikirim dan disimpan pada platform Firebase. Tahapan ini juga akan membangun algoritma *fuzzy logic* dan algoritma peramalan.

#### 3.2.2.5 Tahap Deployment

Proses pengembangan dan pengujian akan dilakukan berdasarkan kesesuaian fungsionalitasnya, hal ini bertujuan untuk mengidentifikasi tingkat kesesuaian fungsi alat, sistem Firebase, aplikasi *website*, *fuzzy logic*, pemodelan algoritma peramalan, dan fungsi keseluruhan sistem. Pengujian yang diterapkan mencakup pengujian kesesuaian fungsi perangkat, sistem Firebase, aplikasi *website*, *fuzzy logic*, serta pemodelan LSTM.

### 3.3 Metode Pengujian Sistem

Pada penelitian dan perancangan sistem *monitoring* energi listrik berbasis IoT menggunakan *fuzzy logic* dan *artificial intelligence* guna memprediksi konsumsi listrik dilakukan analisis yang meliputi pengujian prototipe. Adapun beberapa indikator untuk pengujian yaitu sebagai berikut.



### 3.3.1 Metode Pengujian Kinerja Perangkat Keras

Pengujian kinerja alat merupakan proses evaluasi yang sistematis yang bertujuan untuk menentukan sejauh mana alat atau perangkat dapat berfungsi sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Proses ini mencakup pengukuran parameter keakuratan sensor dalam membaca data-data listrik, yang esensial untuk memastikan validitas alat. Pengujian ini dilakukan dengan mengukur tegangan dan arus yang dihasilkan oleh alat, yang kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran alat referensi, yaitu multimeter kalibrasi standar. Multimeter digunakan sebagai alat pembanding karena kemampuannya yang telah terbukti dalam memberikan hasil pengukuran yang akurat dan presisi.

Pengujian dilakukan terhadap lima jenis beban listrik yang umum digunakan dalam rumah tangga yaitu *handphone*, setrika, laptop, *rice cooker*, dan kipas angin. Pemilihan beban-beban ini didasarkan pada variasi karakteristik listrik yang dihasilkan, yang memungkinkan evaluasi kinerja alat secara komprehensif. Tujuan utama dari pengujian kinerja ini adalah untuk memastikan bahwa alat yang dirancang memiliki akurasi pengukuran yang tinggi, dengan selisih hasil yang minimal dibandingkan dengan multimeter standar. Selisih pengukuran yang kecil menunjukkan bahwa alat mampu berfungsi dengan baik dan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Berdasarkan (Prayitno & Palupiningsih, 2019) perhitungan rata-rata kesalahan pengukuran akan dihitung menggunakan persamaan seperti berikut.

$$Error (\%) = \left| \frac{(Output\ sistem - Output\ Pembanding)}{Output\ Pembanding} \right| \cdot 100\% \quad (2)$$

Hasil dari pengujian kinerja ini menjadi dasar untuk evaluasi lebih lanjut. Jika alat menunjukkan performa yang sesuai dengan spesifikasi, maka dapat disimpulkan bahwa alat tersebut telah memenuhi standar kualitas yang diharapkan. Namun, jika terdapat selisih yang signifikan, maka perlu dilakukan perbaikan atau pengoptimalan pada desain dan fungsi alat. Evaluasi ini sangat penting dalam siklus pengembangan produk untuk memastikan bahwa alat yang diproduksi tidak hanya efisien tetapi juga aman digunakan dalam berbagai kondisi operasional.

### 3.3.2 Metode Pengujian Algoritma *Fuzzy Logic*

Implementasi algoritma *fuzzy logic* akan dievaluasi melalui pengujian validitas terhadap desain awal yang telah dirancang menggunakan aplikasi MATLAB yang berfungsi sebagai standar referensi. MATLAB dipilih sebagai platform pengembangan awal karena kemampuannya yang kuat dalam melakukan simulasi, analisis data, dan pengembangan algoritma kompleks, termasuk *fuzzy logic*. Dalam tahap ini, MATLAB digunakan untuk mengatur variabel, parameter, serta aturan-aturan yang mendasari sistem *fuzzy logic* yang akan dikembangkan.

Pengujian terhadap implementasi algoritma *fuzzy logic* akan dilakukan dengan menggunakan data sampel yang tersedia selama satu bulan penuh, yaitu Februari 2024. Pemilihan periode ini bertujuan untuk memastikan bahwa data yang digunakan mencakup variasi yang cukup untuk memberikan gambaran yang akurat tentang performa sistem dalam berbagai kondisi. Proses pengujian ini melibatkan perbandingan antara hasil perhitungan dari sistem *fuzzy logic* yang telah diimplementasikan dengan hasil perhitungan yang dihasilkan oleh desain awal di MATLAB. Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk mengidentifikasi dan mengukur selisih nilai kesalahan (*error*) antara kedua set hasil tersebut. Analisis selisih ini penting untuk menentukan tingkat akurasi dan reliabilitas sistem yang dibangun. Melalui pengujian dan validasi yang komprehensif ini, diharapkan sistem *fuzzy logic* yang diimplementasikan dapat berfungsi dengan baik dan konsisten dengan desain awal.

### 3.3.3 Metode Pengujian Algoritma LSTM

Penelitian ini bertujuan untuk menguji kinerja algoritma LSTM dalam memprediksi konsumsi energi listrik, dengan fokus pada analisis data yang mengandung anomali dan yang tidak mengandung anomali. Pengujian dilakukan dengan menggunakan dua versi kumpulan data, yaitu data dengan anomali dan data tanpa anomali, untuk mengevaluasi ketahanan model LSTM dalam berbagai kondisi data. Data yang mengandung anomali mencakup kejadian-kejadian yang tidak normal, seperti lonjakan konsumsi listrik yang tiba-tiba, sedangkan data tanpa anomali hanya mencakup pola konsumsi listrik yang normal dan teratur.

Selain itu, teknik *cross-validation* dan *hypertuning* diterapkan untuk mengoptimalkan parameter model LSTM. Parameter yang diujikan meliputi jumlah

unit LSTM [16, 32, 64, 128] dan tingkat *dropout* [0,1, 0,2]. *Cross-validation* digunakan untuk memastikan bahwa model tidak *overfitting* terhadap data pelatihan dan dapat menghasilkan prediksi yang baik pada data uji. Berdasarkan (Elsaraiti & Merabet, 2021), kinerja model dapat dievaluasi menggunakan beberapa metrik utama, yaitu *Mean Absolute Error* (MAE), *Mean Squared Error* (MSE), *Root Mean Squared Error* (RMSE), dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). MAE digunakan untuk mengukur rata-rata kesalahan absolut antara prediksi dan nilai sebenarnya, memberikan gambaran tentang seberapa dekat prediksi dengan nilai aktual secara umum. Berdasarkan (Khan dkk., 2020) secara matematis dapat dinyatakan bahwa MAE adalah jumlah dari selisih absolut antara prediksi  $y_k$  dan nilai aktual  $\hat{y}_k$  dibagi dengan jumlah sampel  $n$ , seperti berikut.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |y_k - \hat{y}_k| \quad (3)$$

Dimana:

$n$  = jumlah sampel dalam dataset

$y_k$  = nilai aktual dari sampel ke- $k$

$\hat{y}_k$  = nilai prediksi dari sampel ke- $k$

Sementara itu, MSE mengukur rata-rata kuadrat kesalahan antara prediksi dan nilai sebenarnya, memberikan bobot yang lebih besar pada kesalahan yang lebih besar sehingga lebih sensitif terhadap *outlier*. Berdasarkan (Khan dkk., 2020) secara matematis dapat dinyatakan bahwa MSE adalah jumlah dari kuadrat dari selisih antara prediksi  $y_k$  dan nilai aktual  $\hat{y}_k$  dibagi dengan jumlah sampel  $n$ , seperti berikut.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (y_k - \hat{y}_k)^2 \quad (4)$$

Kemudian, RMSE memberikan gambaran tentang seberapa besar kesalahan prediksi dari model secara rata-rata dalam satuan yang sama dengan variabel target (*dependent variable*). Berdasarkan (Khan dkk., 2020) secara matematis dapat dinyatakan bahwa RMSE adalah jumlah dari akar kuadrat dari selisih antara prediksi  $y_k$  dan nilai aktual  $\hat{y}_k$  dibagi dengan jumlah sampel  $n$ , seperti berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (y_k - \hat{y}_k)^2} \quad (5)$$

Selain itu, pada MAPE digunakan untuk mengukur kesalahan prediksi sebagai persentase dari nilai aktual, yang memberikan perspektif relatif terhadap ukuran kesalahan. Berdasarkan (Khan dkk., 2020) secara sistematis dapat dinyatakan bahwa MAPE adalah jumlah dari selisih absolut antara prediksi  $y_k$  dan nilai aktual  $\hat{y}_k$  dibagi dengan jumlah sampel  $n$  dan dibagi dengan nilai observasi sebenarnya, seperti berikut:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left| \frac{y_k - \hat{y}_k}{y_k} \right| 100\% \quad (6)$$

Selain evaluasi menggunakan MSE, MAE, RMSE, dan MAPE, pengujian juga dilakukan untuk mengevaluasi perbedaan prediksi biaya listrik dari model LSTM dengan data mentah. Tujuan pengujian ini adalah untuk memahami sejauh mana prediksi model mendekati realisasi biaya listrik yang sebenarnya. Hasil pengujian diharapkan dapat menunjukkan bagaimana algoritma LSTM menangani data dengan dan tanpa anomali, serta parameter konfigurasi yang paling optimal untuk masing-masing jenis data. Evaluasi dengan MSE, MAE, RMSE, dan MAPE akan memberikan gambaran kuantitatif mengenai kinerja model, sedangkan analisis selisih prediksi biaya listrik akan memberikan wawasan praktis tentang penerapan model dalam konteks dunia nyata. Dengan menggunakan pendekatan ini, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam bidang prediksi konsumsi energi listrik, khususnya dalam memahami dan mengoptimalkan penggunaan model LSTM untuk data yang memiliki karakteristik berbeda. Hasil dari penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi referensi bagi studi-studi selanjutnya yang berfokus pada prediksi dan manajemen energi.

### 3.3.4 Metode Pengujian Perangkat Lunak

Pengujian perangkat lunak pada penelitian ini akan menggunakan metode pengujian *black box*. Metode *black box testing* adalah teknik pengujian perangkat lunak yang berfokus pada aspek fungsional sistem tanpa memperhatikan struktur internal atau pengetahuan tentang kode sumber. Menurut (Amalia dkk., 2021) yang membahas pengujian pada aplikasi *E-learning* berbasis web di Institut Teknologi

Telkom Surabaya, di mana teknik *equivalence partitioning* digunakan untuk membagi *input* menjadi dua kelas ekuivalensi yaitu valid dan tidak valid. Tahapan penelitian mencakup penentuan fungsi sistem, perancangan *test case*, pelaksanaan pengujian, dan penarikan kesimpulan. Hasilnya menunjukkan bahwa aplikasi *E-learning* tersebut efektif digunakan sebagai media pembelajaran online di institut tersebut. Selanjutnya, (Fahrezi dkk., 2022) menguraikan pengujian pada aplikasi Inventori milik PT. Aino Indonesia, yang digunakan untuk mencatat barang masuk dan keluar di gudang. Teknik *equivalence partitioning* diterapkan dengan cara *inputan* acak berdasarkan tolak ukur tertentu untuk memastikan keberhasilan sistem. Pengujian difokuskan pada verifikasi proses *login*. Hasilnya, sistem berfungsi dengan baik dan tidak ditemukan *error*, sehingga aplikasi siap digunakan untuk proses pencatatan barang di gudang. Selain itu, (Praniffa dkk., 2023) menyoroti pengujian pada sistem parkir berbasis web di Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Metode yang digunakan adalah kombinasi *black box testing* dan *white box testing*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem parkir yang dirancang berfungsi dengan baik tanpa ada permasalahan, sesuai dengan kebutuhan dan fungsi yang telah direncanakan. Setiap pengguna memiliki hak akses yang tepat berdasarkan perancangan sistem. Dengan demikian, berdasarkan metode pengujian tersebut diharapkan dapat mengetahui kinerja dari fungsionalitas aplikasi berbasis web yang dirancang berdasarkan kebutuhan.